

モノパイル接合構造におけるスリップジョイントの交番載荷実験と再現解析

鹿島建設(株) 正会員 ○新井奈々絵 松木 聡 山沢哲也

1. 洋上風車基礎の大型化に対応した新しい接合方式

洋上風力発電の基礎形式は、欧州ではモノパイル式の採用実績が最も多い。モノパイル(MP)とトランジションピース(TP)の接合方式はボルト接合やグラウト接合が一般的であるが、その他の方式としてスリップジョイントがある。この方式は、MPとTPとの接合部をコンカル形状とし、これらを嵌合するだけの構造であり(図-1)、施工性向上や維持管理費の軽減が期待できる。この構造を日本国内で適用するには、耐震性の検証が必要になる。

本論文では、本構造の地震に対する構造安全性を検証目的とした縮小試験体による静的正負交番載荷実験と再現解析を実施した結果を報告する。

2. 静的交番載荷実験による構造安全性の確認

(1) 試験体

8~10MW級の大型風車を想定し、試験体はスリップジョイント区間を実機の1/10縮尺で製作した(写真-1)。接触面の溶接部はグラインダによる平滑処理を実施し、それ以外の部分は鋼材表面の処理は行わず、素地のまま実験を実施した。

(2) 荷重載荷方法

載荷荷重は長期荷重、短期荷重(暴風波浪時、再現期間50年)および極めて稀に発生する地震動による荷重(再現期間500年)とし(表-1)、それぞれ6回・10回・6回の交番載荷を実施した(図-2)。短期荷重および極めて稀に発生する地震動による荷重の載荷回数は、想定頻度と風車の設計耐用年数を勘案して設定した。なお、設計耐用年数を20年とした場合、短期荷重10回を受ける超過確率は6%である。載荷方法は、水平ジャッキ、および2本の鉛直ジャッキの偶力載荷によって上部工反力を表現した。

(3) マクロ挙動

図-3に荷重比率 α (無次元化したモーメント)一回転角関係を示す。試験体接合部のマクロな挙動は、極めて稀に発生する地震動による荷重($\alpha=1.0$)の載荷時においても弾性挙動であった。

(4) TP・MP分離

実験終了後にTP・MPの分離を試み、上向き鉛直荷重478kNを載荷することでTPの分離ができた。

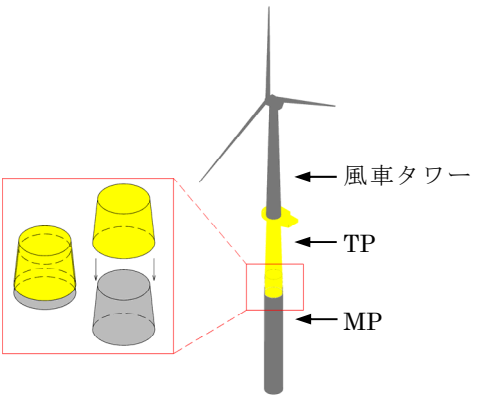


図-1 スリップジョイントの概念



写真-1 交番載荷試験の状況

表-1 実験荷重

	長期荷重	短期荷重	極めて稀に発生する地震動による荷重
鉛直荷重 F_z (kN)	135	135	169.1
水平荷重 F_x (kN)	17.4	24.9	49.8
嵌合部上端のモーメント M (kN・m)	175.7	251	502
荷重比率 α ※	0.35	0.5	1

※極めて稀に発生する地震動による荷重Mを1とした時のM比率

キーワード 洋上風車基礎, モノパイル接合, スリップジョイント, 交番載荷実験, 再現解析

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)土木設計本部 TEL03-6229-6638

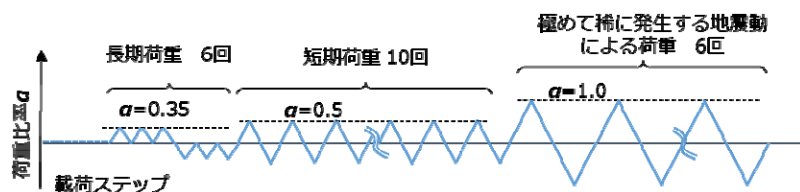
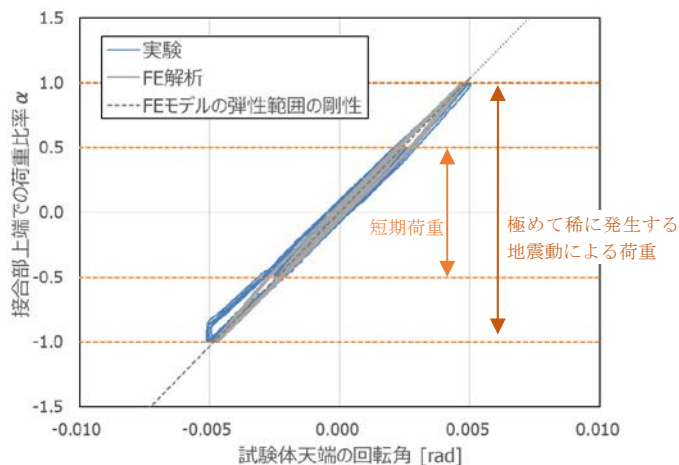
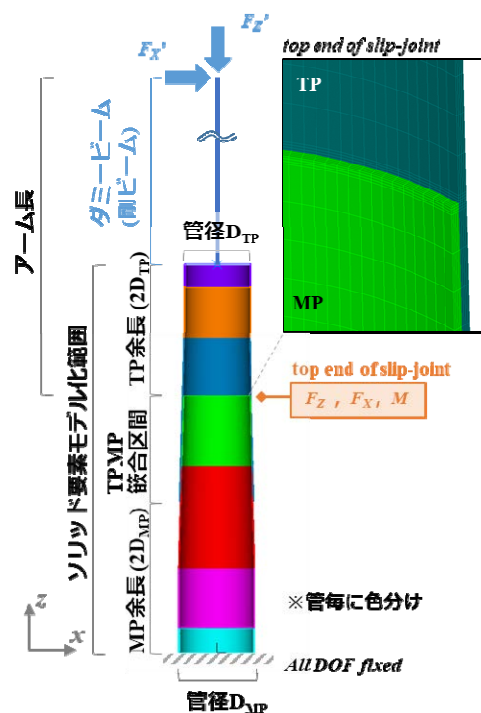
図-2 実験の荷重比率 α と载荷ステップ図-3 荷重比率 α －回転角関係

図-4 FE モデル

3. FEAによる再現解析

(1) FE 解析モデル

FE 解析には、汎用解析コード ADINA9.5 を用いた。TP・MP は 1 次ソリッド要素を用い、また、TP・MP との境界に接触面定義を行うことで付着・剥離・滑りを表現した。図-4 に解析モデルを、表-2 に解析モデルの材料諸元を示す。モデル化の範囲は、予備解析の結果から、座屈拘束の影響や銲合区間内の応力分布に与える影響が小さくなるよう、銲合部の余長を TP, MP それぞれの管直径 D の 2 倍と設定した。なお、TP 上端には剛なダミービームを配置し、このダミービームの上端に水平荷重・鉛直荷重を载荷した。ダミービームの長さは、銲合部上端で設計断面力の曲げ・せん断比が一致するように定めた。

(2) FE 解析結果

図-3 に再現解析による荷重比率 α －回転角関係を灰色で併記した。剛性は $\alpha=1.0$ までの区間で実験結果ともよく一致した。その後再現解析では、モデルの局所塑性が発生するまで荷重を片側に漸増载荷した。図-5 に再現解析による終局時におけるモデルの変形を示す。銲合区間外での塑性化または局所座屈が先行する終局モードを確認した。

4. まとめ

本検討によって得られた知見を以下に述べる。

- (1) スリップジョイントが極めて稀に発生する地震動による荷重に対しても弾性範囲内である。
- (2) 銲合区間内の破壊が先行しない。
- (3) 極めて稀に発生する地震後に TP の取り外しが可能である。
- (4) FEA による再現解析が、実験結果をよくトレースできている。

表-2 解析モデル材料諸元

	TPの直管・ MPのコニカル部	TPのコニカル部・ MPの直管
降伏強度	415 MPa	405 MPa
弾性係数、降伏弾性係数	200GPa, 2.0GPa	200GPa, 2.0GPa
ポアソン比	0.30	0.30
摩擦係数	0.2	0.2

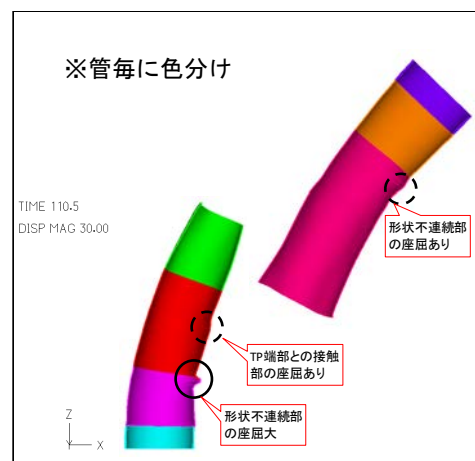


図-5 終局载荷時変形図 (30 倍率)